

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-035693

(43)Date of publication of application : 09.02.2001

(51)Int.Cl.

H05H 1/24

C01B 13/11

H01T 15/00

H01T 23/00

(21)Application number : 11-208897

(71)Applicant : MITSUBISHI ELECTRIC CORP

(22)Date of filing : 23.07.1999

(72)Inventor : KITAYAMA JIRO

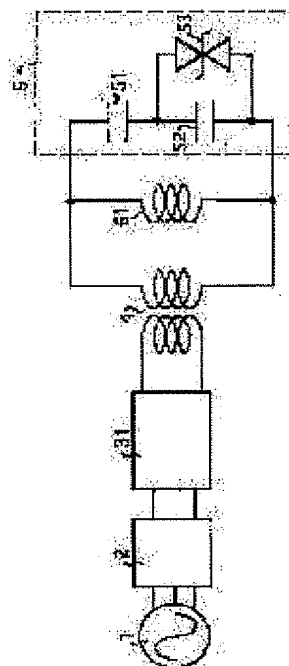
MINE SHINGO

## (54) PLASMA GENERATING POWER SUPPLY

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a small and inexpensive power supply capable of conducting power factor compensation of a discharge load such that an electrostatic capacity value in a gas region is not negligible, compared to a electrostatic capacity value for a dielectric.

**SOLUTION:** An AC high voltage is supplied from an AC power supply 1 through a rectifier 2, an inverter 31 and a transformer 4 to a discharge load 5 in which a gas region is formed as a discharge space between a pair of opposed electrodes via a dielectric, and a gas in the discharge space is excited to generate plasma. A parallel inductor 61 having an inductance satisfied with Expression  $1/[C1 \times (2\pi f)^2] \leq L \leq 1/[C3 \times (2\pi f)^2]$ , where L is the inductance (H), C1 is the electrostatic capacity value (F) for the dielectric, f is the frequency (Hz) of AC voltage applied between both electrodes, C3 is the electrostatic capacity (F) given by  $(C1 \times C2)/(C1 + C2)$  and C2 is the electrostatic capacity value in the gas region, is provided on the secondary side of the transformer 4 in parallel to the discharge load 5.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 29.10.2002

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 01.03.2005

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3719352

[Date of registration] 16.09.2005

[Number of appeal against examiner's decision of rejection] 2005-05576

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-35693

(P2001-35693A)

(43)公開日 平成13年2月9日(2001.2.9)

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テーマコード\*(参考)

H 0 5 H 1/24

H 0 5 H 1/24

4 G 0 4 2

C 0 1 B 13/11

C 0 1 B 13/11

A

H 0 1 T 15/00

H 0 1 T 15/00

C

23/00

23/00

審査請求 未請求 請求項の数6 O L (全 12 頁)

(21)出願番号

特願平11-208897

(22)出願日

平成11年7月23日(1999.7.23)

(71)出願人 000006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72)発明者 北山 二郎

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三

菱電機株式会社内

(72)発明者 峯 慎吾

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三

菱電機株式会社内

(74)代理人 100102439

弁理士 宮田 金雄 (外2名)

Fターム(参考) 4G042 CA01 CD01

(54)【発明の名称】 プラズマ発生用電源装置

(67)【要約】

【課題】 ガス領域の静電容量値が誘電体の静電容量値に比べて無視できないような放電負荷に対しても、力率補償が行え、かつ小型で安価なプラズマ発生用電源装置を得る。

【解決手段】 対向配置する一对の電極間に誘電体を介して放電空間となるガス領域が構成された放電負荷5に対し、交流電源1より整流器2、インバータ31、トランス4を介して交流高電圧を供給し、上記放電空間のガスを励起して、プラズマを発生させるプラズマ発生用電源装置において、トランス4の2次側に、放電負荷5に対して並列に、下記の式(1)を満足するインダクタンスを有する並列インダクタ62を設けた。

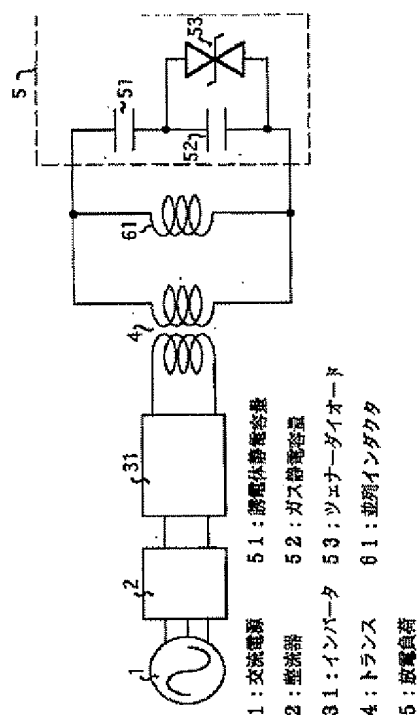
$$1 / \{ C1 \times (2 \pi f)^2 \} \leq L \leq 1 / \{ C3 \times (2 \pi f)^2 \} \cdots (1) \text{ ここで、 } L: \text{インダクタンス [H]}$$

C1: 誘電体の静電容量値 [F]

f: 両電極間に印加される交流電圧の周波数 [Hz]

C3:  $(C1 \times C2) / (C1 + C2)$  で与えられる静電容量値 [F]

C2: ガス領域の静電容量値 [F]



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 対向配置する一対の電極間に誘電体を介して放電空間となるガス領域が構成され、上記両電極間に印加される交流高電圧により生じる電界によって上記放電空間のガスを励起し、プラズマを発生させる放電負

$$1/\{C1 \times (2\pi f)^2\} \leq L \leq 1/\{C3 \times (2\pi f)^2\} \cdots (1)$$

ここで、L：インダクタンス [H]

C1：誘電体の静電容量値 [F]

f：両電極間に印加される交流電圧の周波数 [Hz]

C3：(C1×C2)/(C1+C2)で与えられる静電容量値 [F]

C2：ガス領域の静電容量値 [F]

【請求項2】 対向配置する一対の電極間に誘電体を介して放電空間となるガス領域が構成され、上記両電極間に印加される交流高電圧により生じる電界によって上記放電空間のガスを励起し、プラズマを発生させる放電負荷に対し、トランスを介して交流電力を供給するプラズマ発生用電源装置において、上記トランスの2次側で、上記放電負荷に対して並列または直列に、下記の式

(2)を満足するインダクタンスを有するように構成したことを特徴とするプラズマ発生用電源装置。

$$L = 1/\{C \times (2\pi f)^2\} \cdots (2)$$

ここで、L：インダクタンス [H]

C：C1×(1-V\*/V<sub>op</sub>)で与えられる静電容量値 [F]

C1：誘電体の静電容量値 [F]

V\*：放電空間の放電維持電圧 [V]

V<sub>op</sub>：印加電圧波高値 [V]

f：両電極間に印加される交流電圧の周波数 [Hz]

【請求項3】 トランスの2次側に、放電負荷に対して並列または直列に接続され、式(1)または式(2)を満足するインダクタンスを有するインダクタを備えたことを特徴とする請求項1または2記載のプラズマ発生用電源装置。

【請求項4】 式(1)または式(2)で示されるインダクタンスをL、トランスの巻数比をmとした時、トランスの1次側に、放電負荷に対して並列または直列に接続され、L/m<sup>2</sup>を満足するインダクタンスを有するインダクタを備えたことを特徴とする請求項1または2記載のプラズマ発生用電源装置。

【請求項5】 式(1)または式(2)で示されるインダクタンスをL、トランスの巻数比をmとした時、トランスの励磁インダクタンスが、L/m<sup>2</sup>を満足するように構成したことを特徴とする請求項1または2記載のプラズマ発生用電源装置。

【請求項6】 式(1)または式(2)で示されるインダクタンスをL、トランスの巻数比をmとした時、トランスの漏れインダクタンスが、L/m<sup>2</sup>を満足するように構成したことを特徴とする請求項1または2記載のプラズマ発生用電源装置。

荷に対し、トランスを介して交流電力を供給するプラズマ発生用電源装置において、上記トランスの2次側で、上記放電負荷に対して並列または直列に、下記の式

(1)を満足するインダクタンスを有するように構成したことを特徴とするプラズマ発生用電源装置。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、オゾン発生器、レーザ発振器などのプラズマ発生用電源装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来より、オゾン発生器、レーザ発振器などにはプラズマ発生用電源装置が用いられている。図12は、オゾナイザハンドブック(227頁、図2.63、コロナ社、昭和35年6月15日発行)に記載された従来のオゾン発生器用のプラズマ発生用電源装置の電源回路図である。図12において、1は交流の入力電源、2は整流器、3はインバータ、4はトランス(変圧器)、5は対向配置する一対の電極間に誘電体を介して放電空間となるガス領域が構成され、上記放電空間のガスが励起されて、プラズマが発生する放電負荷、6は放電負荷5に対して並列に接続された力率改善用の並列インダクタである。

【0003】次に動作について説明する。入力電源1の商用の交流電圧は整流器によって直流に変換され、さらにインバータ3によって規定の周波数の交流電圧に変換される。さらにトランス4により放電開始に到る電圧に昇圧され、放電負荷5に高電圧が印加される。この印加された高電圧により放電負荷5で放電が発生し、この放電によりガス粒子が励起される。ここで、放電電極間に誘電体を挿入した放電負荷を用いた場合、この放電負荷5は電気的にはコンデンサとして働き、電圧に対して電流の位相が進むことが知られている。このため皮相電力と有効電力との比で表される力率が低く、放電負荷5にエネルギーを投入するためには必要以上の電流を流さなければならない。

【0004】したがって、トランス4やインバータ3を構成する素子は、上記の電流値に耐えうる仕様を必要とするため、電源装置の大型化および装置コストの増大が必至となる。並列インダクタ6は、放電負荷における電流位相の電圧に対する進みを補償するために、位相遅延素子として放電負荷5と並列に接続されたものである。放電負荷5での電流位相の進み分と並列インダクタ6による電流位相の遅れ分を等しく設定すると、電源装置より供給される電流と電圧の位相が合致し、最も小さな電流で放電負荷5に効率的に電力を投入することができる。各素子が理想的な素子であれば、このとき力率は100%となって、共振と呼ばれる状態となる。

【0005】従来のプラズマ発生用電源では、このよう

に放電負荷 5 と並列に並列インダクタ 6 を接続することにより力率を改善し、小容量の電源素子を用いて小型で安価な電源装置を構成できるようにしている。なお、図 12 では、トランス 4 の 2 次側に並列インダクタを接続した場合を示したが、図 13 に示すようにトランス 4 の 1 次側に並列インダクタを接続しても同様の効果が得られる。但し、この場合、耐圧の低い素子を使える反面、トランスの力率は改善されない所以需要以上の容量を有するトランスが必要である。

【0006】図 14 はオゾン発生器などの電極間に誘電体を介装した放電負荷 5 の等価回路である。図 14 において、51 は電極間に介在する誘電体の静電容量であり、容量値 C1 を有する。52 はガス領域の静電容量であり、容量値 C2 を有する。53 はプラズマの発生・消滅によって非線形性を有するプラズマ負荷部を等価的に示したツェナーダイオードである。

【0007】このプラズマ負荷 53 の抵抗値は、ツェナー電圧  $V_z$  未満では無限大となり、電流は流れない。すなわち、回路は非放電状態であることを示している。しかるに、素子 53 の両端の電圧がツェナー電圧  $V_z$  に達すると、この素子は導通し、回路は放電状態となる。このため非放電状態では、放電負荷 5 は誘電体静電容量 51 の値 C1 とガス静電容量 52 の値 C2 が直列に結合して式 (3) によって表される値 C を有する容量性負荷であるが、放電時には容量値 C1 単独の容量性負荷に変化する。

$$C = \{C1 \times C2 / (C1 + C2)\} \quad \dots (3)$$

【0008】従来のオゾン発生器では、ガス静電容量 52 の容量値 C2 に比べて誘電体静電容量 51 の容量値 C1 が十分大きくなるよう設計されている。すなわち、放電が生じるガス領域の空隙が数 mm と広い。このため、式 (3) で表される非放電時の負荷容量値 C は  $C \approx C2$  となり、極めて小さな容量成分を持つ。また、放電時の負荷容量値は C1 となり、放電／非放電時で負荷容量値は大きく変化する。ただし、非放電時には、前述のように負荷の容量成分は非常に小さい。したがって、電流位相が進んで力率が悪くても、無効電力自体も小さいため、電源の容量を大幅に増大させることはない。このようなことから、従来のオゾン発生器のように、ガス静電容量 52 の容量値 C2 に比べて誘電体静電容量 51 の容量値 C1 が十分大きな場合には、放電時の負荷容量値 C1 に合わせて、共振条件を満たすようなインダクタを選

$$1 / \{C1 \times (2\pi f)^2\} \leq L \leq 1 / \{C3 \times (2\pi f)^2\} \quad \dots (1)$$

ここで、L：インダクタンス [H]

C1：誘電体の静電容量値 [F]

f：両電極間に印加される交流電圧の周波数 [Hz]

C3： $(C1 \times C2) / (C1 + C2)$  で与えられる静電容量値 [F]

C2：ガス領域の静電容量値 [F]

【0012】また、本発明の第 2 の構成によるプラズマ

定されていた。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】従来のプラズマ発生用電源装置は、放電負荷 5 に対して 1 種類のインダクタで放電負荷 5 の静電容量を補償するように構成されている。オゾン発生器を例にとった従来の例では、ガス静電容量 52 の容量値 C2 が誘電体静電容量 51 の容量値 C1 に比べて十分に小さかったので、放電時の負荷容量値 C1 を補償するインダクタを選定することで力率改善が可能であった。しかしながら、最近のオゾン発生器は、その性能向上のためにガス領域の空隙（以下、放電ギャップ長と呼ぶ。）が 1 mm 以下のものが大半を占めている。そのため、ガス静電容量 52 の容量値 C2 は、誘電体静電容量 51 の容量値 C1 に比べて無視できない程度まで増加し、装置によっては  $C1 \approx C2$ 、あるいは  $C1 < C2$  となるようなものも存在する。この場合、放電発生の有無により放電負荷 5 の静電容量値が変化するだけでなく、非放電時にも大きな容量成分を持つ。したがって、従来はあまり問題にならなかった非放電時の無効電力が増大し、非共振時の力率補償がなされていないために、必要以上の容量を有する素子を用いて電源装置を構成せねばならなくなる。これにより、装置は大型化し、さらに高価になる。このように、従来のプラズマ発生用電源装置には、解決すべき課題が存在する。

【0010】この発明は上記のような課題を解決するためになされたものであり、ガス領域の静電容量値が誘電体の静電容量値に比べて無視できないような放電負荷に対しても、放電発生の有無に関わらず力率補償が行え、それ故小型で安価なプラズマ発生用電源装置を得ることを目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】本発明の第 1 の構成によるプラズマ発生用電源装置は、対向配置する一対の電極間に誘電体を介して放電空間となるガス領域が構成され、上記両電極間に印加される交流高電圧により生じる電界によって上記放電空間のガスを励起し、プラズマを発生させる放電負荷に対し、トランスを介して交流電力を供給するプラズマ発生用電源装置において、上記トランスの 2 次側で、上記放電負荷に対して並列または直列に、下記の式 (1) を満足するインダクタンスを有するように構成したものである。

発生用電源装置は、対向配置する一対の電極間に誘電体を介して放電空間となるガス領域が構成され、上記両電極間に印加される交流高電圧により生じる電界によって上記放電空間のガスを励起し、プラズマを発生させる放電負荷に対し、トランスを介して交流電力を供給するプラズマ発生用電源装置において、上記トランスの 2 次側で、上記放電負荷に対して並列または直列に、下記の式

(2)を満足するインダクタンスを有するように構成したものである。

$$L = 1 / \{ C \times (2\pi f)^2 \} \cdots (2)$$

ここで、L：インダクタンス [H]

C：C1×(1-V\*/V<sub>op</sub>)で与えられる静電容量値 [F]

C1：誘電体の静電容量値 [F]

V\*：放電空間の放電維持電圧 [V]

V<sub>op</sub>：印加電圧波高値 [V]

f：両電極間に印加される交流電圧の周波数 [Hz]

【0013】また、本発明の第3の構成によるプラズマ発生用電源装置は、第1または第2の構成において、トランスの2次側に、放電負荷に対して並列または直列に接続され、式(1)または式(2)を満足するインダクタンスを有するインダクタを備えたものである。

【0014】また、本発明の第4の構成によるプラズマ発生用電源装置は、第1または第2の構成において、式(1)または式(2)で示されるインダクタンスをL、トランスの巻数比をmとした時、トランスの1次側に、放電負荷に対して並列または直列に接続され、L/m<sup>2</sup>を満足するインダクタンスを有するインダクタを備えたものである。

【0015】また、本発明の第5の構成によるプラズマ発生用電源装置は、第1または第2の構成において、式(1)または式(2)で示されるインダクタンスをL、トランスの巻数比をmとした時、トランスの励磁インダクタンスが、L/m<sup>2</sup>を満足するように構成したものである。

【0016】また、本発明の第6の構成によるプラズマ発生用電源装置は、第1または第2の構成において、式(1)または式(2)で示されるインダクタンスをL、トランスの巻数比をmとした時、トランスの漏れインダクタンスが、L/m<sup>2</sup>を満足するように構成したものである。

#### 【0017】

【発明の実施の形態】実施の形態1. 以下、本発明の実施の形態1を図を用いて説明する。図1は、この発明の実施の形態1によるプラズマ発生用電源装置を示す回路図である。図1において、1は入力用の交流電源、2は整流器、31はインバータ、4はトランス(変圧器)である。5は対向配置する一対の電極間に誘電体を介して放電空間となるガス領域が構成され、上記放電空間のガスが励起されて、プラズマが発生する放電負荷であり、誘電体静電容量51、ガス静電容量52、ツェナーダイオード53により、等価的に図1のように示すことができる。61は放電負荷5およびトランス4の2次側巻線に対して並列に接続され、インダクタンスL<sub>p1</sub>を有する力率改善用の並列インダクタである。従来技術には明記されていないが、以上のような回路構成とする場合、インバータ31は、出力電流波形が矩形波となる定電流

制御方式のインバータを用いる。

【0018】このようなプラズマ発生用電源装置は、例えばオゾン発生器用電源として適用されるが、これに限られるものではなく、誘電体を介した放電を用いるプラズマ発生装置、例えばレーザ発振器、PDP(プラズマディスプレイパネル)、放電を用いた光源などの装置にも適用可能である。なお、これに関しては以降に記す実施の形態についても同様である。

【0019】次に動作について説明する。入力電源1の商用交流電圧は整流器2によって直流に変換され、さらにインバータ31によって規定の周波数の交流に変換される。インバータ31は、この場合、定電流制御インバータを用いる。インバータ31からの出力電圧は、トランス4により昇圧された後、誘電体静電容量51とガス静電容量52とに、それぞれの静電容量値の逆比に応じて分圧される。そして、ガス静電容量52に分圧された電圧がツェナー電圧V<sub>z</sub>に達した時、放電負荷5で放電が発生する。

【0020】一般的なオゾナイザでは、商用周波数から数十kHz程度の周波数の交流電圧が印加されるが、このような周波数域では、1サイクルの間に放電期間と非放電期間がそれぞれ2回現れ、図2のように概ね両軸対称である平行四辺形のV(電圧)-Q(電荷)リサージュ波形が得られる。図2において、横軸Vは放電負荷5の両端の電圧、縦軸Qは放電負荷5の両端の電荷であり、B点、D点は放電開始点、A点、C点は放電終了点である。ここで、Q=0におけるV軸の切片は、放電負荷の等価回路で表された各容量素子に電荷が誘起されていない状態であるから、ガス領域は放電中であり、かつ誘電体の両端にも電圧は発生していないから、放電空間の放電維持電圧V\*で表され、V=V\*、-V\*となる。なお、放電維持電圧V\*は、放電期間中に放電空間に発生している電圧の時間・空間的な平均値であるが、実際には時間・空間的にランダムに放電が発生しており、したがって定常的な放電を仮定できる。よって、放電維持電圧V\*はガス領域の放電開始電圧、すなわちツェナー電圧V<sub>z</sub>にほぼ等しく、V\*≒V<sub>z</sub>の関係にある。また、図2において、tanαは放電期間における放電負荷5の静電容量値を表しており、放電期間ではガス静電容量52(容量値C2)は短絡され、誘電体静電容量51(容量値C1)のみが寄与するので、 $\tan \alpha = C1 \cdots (4)$ となる。さらに、角度βで表された傾きを有する領域は非放電期間である。非放電時の等価回路は、回路の浮遊容量を無視すると、誘電体静電容量51とガス静電容量52とが直列に接続されたものとなるので、 $\tan \beta = C1 \times C2 / (C1 + C2) \cdots (5)$ で表される。

【0021】ここで、図2中のA点とC点を結んだ一点鎖線は、リサージュ波形が両軸対称であるため、原点を

通る。これは、非放電期間の始点と放電期間の終点とを結んだ直線であるから、非放電期間と放電期間とを含めて評価した放電負荷5の平均的な静電容量を表していることになる。この直線の傾き角を $\gamma$ とすると、同図のC点の最大電荷量 $Q_{\max}$ は、 $\tan \alpha = C1$ であるから、

$$\tan \gamma = Q_{\max} / V_{op} = C1 \times (1 - V^* / V_{op}) \quad \dots (7)$$

で与えられる。

【0022】ここで、放電終了時( $V = V_{op}$ )の放電負荷5の様子を図3に示す。ガス領域に分圧された電圧がツェナー電圧 $V_z$ に到達すると、ガスは絶縁破壊されるため、ガス領域の静電容量52は短絡される。この時、ツェナーダイオードは、非線形な抵抗成分Rのみを有するとすれば、電源から見た放電負荷5の容量成分としては、誘電体の静電容量51のみが寄与することとなる。すなわち、放電負荷5は、静電容量51とツェナーダイ

$$C = Q_{\max} / V_{op} = C1 \times (1 - V^* / V_{op}) \quad \dots (8)$$

となる。この値は、前述した非放電期間と放電期間とを含めた放電負荷の平均的な静電容量( $\tan \gamma$ )の値と等しい。すなわち電源側からは、1サイクルを通じて放電負荷5があたかも式(8)で表される静電容量値Cを有する容量成分のように見える。よって、放電負荷5に対して効率良く電力を投入するには、次式(9)で表される電源側から見た放電負荷の容量成分Cをキャンセルするだけのインダクタンスを有するインダクタを付加すれば良い。

$$L = 1 / [C \times (2\pi f)^2] \quad \dots (9)$$

ここで、L：付加するインダクタのインダクタンス

[H]

C： $C1 \times (1 - V^* / V_{op})$  で与えられる静電容量値

[F]

C1：誘電体の静電容量値 [F]

$V^*$ ：放電空間の放電維持電圧 [V]

$V_{op}$ ：印加電圧波高値 [V]

f：両電極間に印加される交流電圧の周波数 [Hz]

【0024】以上のことから、図1において、放電負荷5に対して並列に接続された並列インダクタ61のインダクタンス $L_{p1}$ を、式(9)を満足するLとなるように設定すれば、ガス領域の静電容量値C2が誘電体の静電容量値C1に比べて無視できないような放電負荷に対しても、高い力率を維持することができる。一例として、誘電体の静電容量値C1とガス領域の静電容量値C

$$W = 4 \cdot f \cdot C1 \cdot V^* \times \{V_{op} - (1 + C2 / C1) \cdot V^*\} \quad \dots (10)$$

である。これらの中で、 $V_{op}$ 以外の物理量は電極材質および形状と、ガス圧力などの動作条件が決定されれば自明となる。したがって、所望の放電電力Wを得るための印加電圧波高値 $V_{op}$ は、式(10)で求められる。 $V_{op}$ が決定されれば、C1および $V^*$ も既知であるから、電源から見た放電負荷5の容量成分Cも式(8)により求めることができ、放電負荷5の容量に関わらず、式

(9)により力率改善用のインダクタを容易に設計する

$$Q_{\max} = (V_{op} - V^*) \times \tan \alpha$$

$= C1 \times (V_{op} - V^*) \quad \dots (6)$   
と表すことができる。したがって、この一点鎖線で示された直線の傾き角 $\gamma$ は、図2より、

オードの抵抗Rとが直列接続された素子と見なすことができる。

【0023】放電終了時において、電源側からみた放電負荷5の見かけ上の容量成分を評価すると、放電負荷5に蓄えられている電荷Qは、 $V_z \approx V^*$ より、 $Q = Q_{\max} = C1 \times (V_{op} - V^*)$ で表され、このとき放電負荷5には $V_{op}$ なる電圧が印加されているから、放電負荷の静電容量値Cは、

2が、それぞれ $C1 = 10.9 \text{ nF}$ 、 $C2 = 8.4 \text{ nF}$ である放電負荷を有する場合の、共振周波数fと並列インダクタ61のインダクタンス $L_{p1}$ の関係を調べた結果を図4に示す。図4より、式(9)から与えられる $L_{p1}$ の計算値に極めて近いインダクタンスを有するインダクタにより、共振状態が得られていることがわかる。この場合、並列インダクタ61を挿入しない状態での放電負荷5の力率は30%以下であったが、力率補償用のインダクタ61を放電負荷5に並列に接続することにより、トランス4を含めた放電負荷5の力率を90%以上にまで改善することができている。

【0025】図5は、誘電体静電容量値C1が49.5 nFである放電負荷5を有するオゾナイザにおいて、 $L_{p1} = 0.16 \text{ H}$ なるインダクタンスを有する力率改善用インダクタ61を放電負荷5に対して並列に接続した場合の、共振周波数fと印加電圧波高値 $V_{op}$ の関係を示したものである。この図からも、式(9)で与えられる共振周波数の計算値と、実験的に得られた共振周波数は±2%以内の差に収まり、式(9)により非常に高い精度で共振条件を予測することが可能であることを示唆している。

【0026】オゾナイザの電気設計においては、まず、装置に投入する放電電力Wが決定される。放電電力Wは、次式で与えられる。

ことができる。

【0027】以上のように、この実施の形態1によれば、放電負荷5に並列に接続する並列インダクタ61のインダクタンスを式(9)を満足するように設定したので、放電負荷5の変化に対し、力率改善度合いを高く維持することができるという効果がある。

【0028】実施の形態2、図6は、この発明の実施の形態2によるプラズマ発生用電源装置を示す回路図であ

る。図6において、62は放電負荷5およびトランス4の2次側巻線に対して並列に接続され、インダクタンス値 $L_p2$ を有する力率改善用の並列インダクタであり、基本回路構成は実施の形態1と全く同様である。従来技術には明記されていないが、以上のような回路構成とする場合、実施の形態1と同様、インバータ31は、出力電流波形が矩形波となる定電流制御方式のインバータを

$$1/\{C1 \times (2\pi f)^2\} \leq L_p2 \leq 1/\{C3 \times (2\pi f)^2\} \cdots (11)$$

ここで、 $C1$ ：誘電体の静電容量値[F]

$f$ ：両電極間に印加される交流電圧の周波数[Hz]

$C3$ ： $(C1 \times C2)/(C1 + C2)$ で与えられる静電容量値[F]

$C2$ ：ガス領域の静電容量値[F]

である。 $C3$ は、誘電体の静電容量とガス領域の静電容量の直列合成容量であり、電源側から見た非放電時の放電負荷5の容量成分である。

【0030】実施の形態1では、共振条件に極めて近い状態を再現できるため、非常に高効率で放電負荷5への電力投入が可能となり、インバータ31の必要電流容量を最小限に抑えることができる。しかし、共振点での動作は負荷容量等の物理量の変化に対して一般に敏感である。オゾナイザを例にとると、誘電体の絶縁破壊などによって放電負荷5の容量が変化する可能性が考えられる。(この場合、負荷5の静電容量は減少する。)このため、実際には、共振点を故意にずらして設計することが考えられる。この時、インダクタ62のインダクタンスを式(11)を満足する範囲で選べば、図2のリサージュ波形からもわかるように、

$$C3 < C < C1 \quad \cdots (12)$$

(ここで、 $C$ は $C1 \times (1 - V^*/V_{op})$ で与えられる静電容量値)の関係があるので、共振点をわずかに外したところに、インダクタ62のインダクタンスを設定することが可能である。また、力率改善の度合いは実施の形態1には及ばないが、放電負荷5の変化に対し、安定して力率改善度合いを高く維持することができる。

【0031】さらに、放電負荷5の容量成分 $C'$ が $C < C' < C1$   $\cdots (13)$

(ここで、 $C$ は $C1 \times (1 - V^*/V_{op})$ で与えられる静電容量値)の範囲にあるとして力率改善用インダクタを設計すれば、上述のとおり放電負荷の静電容量が減少しても、あらかじめ負荷の容量成分を共振条件を満足する値よりも大きく見積もっているため、力率が大幅に悪化することを回避できる。この場合、容量の減少がわずかであれば、その時の力率が設計時よりも改善されることもあり得る。

【0032】以上のように、この実施の形態2によれば、放電負荷5に並列に接続する並列インダクタ62のインダクタンス $L_p2$ を式(11)を満足するように設定したので、放電負荷5によらず安定して力率改善度合いを高く維持できる。さらに、あらかじめ放電負荷5の

用いる。なお、実施の形態1と同等あるいは同一要素については、同一符号を付して説明を省略する。

【0029】次に動作について説明する。本実施の形態2においては、図6に示すように、放電負荷5に対して並列に接続された並列インダクタ62のインダクタンス値 $L_p2$ を次式を満足するように設定する。

容量成分 $C'$ が式(13)を満足する範囲にあるとしてインダクタ62のインダクタンスを決定すれば、放電負荷の容量が誘電体の絶縁破壊等によって減少しても、力率が極端に悪化することを回避でき、安定して力率改善度合いを高く維持することができる。

【0033】実施の形態3. 図7は、この発明の実施の形態3によるプラズマ発生用電源装置を示す回路図である。図7において、7は放電負荷5およびトランス4の2次側巻線に対して直列に接続され、インダクタンス $L_s1$ を有する力率改善用の直列インダクタである。従来技術には明記されていないが、以上のような回路構成とする場合、本実施の形態ではインバータ32は、出力電圧波形が矩形波となる定電圧制御方式のインバータを用いる。なお、前述の実施の形態と同等あるいは同一要素については、同一符号を付して説明を省略する。

【0034】図7において、前述のような定電圧制御式インバータ32を用いた場合に、放電負荷5に対して直列に接続された直列インダクタ7のインダクタンス $L_s1$ に対しても、式(9)を満足するように設定すれば、ガス領域の静電容量値 $C2$ が誘電体の静電容量値 $C1$ に比べて無視できないような放電負荷に対しても、高い力率を維持することができ、実施の形態1と同様の効果が得られる。

【0035】さらに、直列インダクタ7のインダクタンス $L_s2$ を、式(11)を満足するように選んだ場合には、力率改善度合いはわずかに悪化するが、放電負荷5の変化に対してもより安定して力率改善度合いを高く維持することが可能である。

【0036】実施の形態4. 図8は、この発明の実施の形態4によるプラズマ発生用電源装置を示す回路図である。本実施の形態4ではトランス4の1次側巻線と並列に並列インダクタ63を接続している。なお、実施の形態1と同等あるいは同一要素については、同一符号を付して説明を省略する。

【0037】図8において、トランス4の1次側巻線と並列に接続された並列インダクタ63のインダクタンス $L_p3$ は、実施の形態1、2に示された、トランス4の2次側に接続された並列インダクタ61、62のインダクタンス $L_p1$ 、 $L_p2$ に対して、トランス4の巻数比(2次側巻数/1次側巻数)を $m$ とした時、

$$L_p3 = L_p1/m^2 \quad \cdots (14)$$

$$L_p3 = L_p2/m^2 \quad \cdots (15)$$

のうちのいずれかを満足するように構成されている。このようにすれば、実施の形態 1 または 2 に示されたものと等価的に同じ LC 並列回路となるため、同様の効果が得られる。即ち、トランス 4 の 2 次側で、放電負荷 5 に対して並列に、式 (1) または式 (2) を満足するインダクタンスを有するように構成できる。

【0038】実施の形態 5. 図 9 は、この発明の実施の形態 5 によるプラズマ発生用電源装置を示す回路図である。本実施の形態 5 ではトランス 4 の 1 次側巻線と直列に直列インダクタ 7 1 を接続している。なお、実施の形態 3 と同等あるいは同一要素については、同一符号を付して説明を省略する。

【0039】図 9 において、トランス 4 の 1 次側巻線と直列に接続された直列インダクタ 7 1 のインダクタンス  $L_{s3}$  は、実施の形態 3 に示された、トランス 4 の 2 次側に接続された直列インダクタ 7 のインダクタンス  $L_{s1}$ 、または  $L_{s2}$  に対して、トランス 4 の巻数比を  $m$  とした時、

$$L_{s3} = L_{s1} / m^2 \quad \cdots (16)$$

$$L_{s3} = L_{s2} / m^2 \quad \cdots (17)$$

のうちのいずれかを満足するように構成されている。このようにすれば、実施の形態 3 に示されたものと等価的に同じ LC 並列回路となるため、同様の効果が得られる。即ち、トランス 4 の 2 次側で、放電負荷 5 に対して直列に、式 (1) または式 (2) を満足するインダクタンスを有するように構成できる。

【0040】実施の形態 6. 図 10 は、この発明の実施の形態 6 によるプラズマ発生用電源装置を示す回路図である。図 10 において、6 4 はトランス 4 の 1 次側巻線に対して等価的に並列接続された並列インダクタであり、トランス 4 の励磁インダクタンスに相当するものである。なお、実施の形態 1 と同等あるいは同一の要素については同一符号を付し、説明を省略する。

【0041】次に動作について説明する。実施の形態 1 では、トランス 4 の 2 次側巻線と並列に並列インダクタ 6 1 を接続するようにしたが、この並列インダクタ 6 1 の代わりにトランス 4 の励磁インダクタンスを用いるようにしても同じように作用する。この場合、トランス 4 の 1 次側で力率を改善するので、並列インダクタ 6 4 のインダクタンス  $L_{p4}$  は、実施の形態 1、2 に示されたトランス 4 の 2 次側に接続された並列インダクタ 6 1、6 2 のインダクタンス  $L_{p1}$ 、 $L_{p2}$  に対して、トランス 4 の巻数比を  $m$  とした時、

$$L_{p4} = L_{p1} / m^2 \quad \cdots (18)$$

$$L_{p4} = L_{p2} / m^2 \quad \cdots (19)$$

のうちのいずれかを満足するように構成される。具体的には、トランスの 1 次側鉄心と 2 次側鉄心とのギャップの長さを増減することにより、励磁インダクタンスの値を調整し（ギャップが大きいと励磁インダクタンスは小さくなる）、上式のいずれかを満足する所定値に設定す

る。

【0042】このようにすれば、実施の形態 1 または 2 に示されたものと等価的に同じ LC 並列回路となるため、同様の効果が得られる。即ち、トランス 4 の 2 次側で、放電負荷 5 に対して並列に、式 (1) または式

(2) を満足するインダクタンスを有するように構成できる。

【0043】さらに、本実施の形態 6 においては、トランス 4 の励磁インダクタンスを利用し、予め上記励磁インダクタンス  $L_{p4}$  が式 (18)、(19) のいずれかを満足するようにトランス 4 を設計し、この励磁インダクタンスが実施の形態 1、または 2 の並列インダクタ 6 1、6 2 と同じ役割を有するようにしたので、新たに並列インダクタを接続する必要がなくなるため、より安価な装置を提供することができる。

【0044】実施の形態 7. 図 11 は、この発明の実施の形態 7 によるプラズマ発生用電源装置を示す回路図である。図 11 において、7 2 はトランス 4 の 1 次側巻線に対して等価的に直列接続された直列インダクタであり、トランス 4 の漏れインダクタンスに相当するものである。なお、実施の形態 3 と同等あるいは同一の要素については同一符号を付し、説明を省略する。

【0045】次に動作について説明する。実施の形態 3 では、トランス 4 の 2 次側巻線と直列に直列インダクタ 7 を接続するようにしたが、この直列インダクタ 7 の代わりにトランス 4 の漏れインダクタンスを用いるようにしても同じように作用する。この場合、トランス 4 の 1 次側で力率を改善するので、直列インダクタ 7 2 のインダクタンス  $L_{s4}$  は、実施の形態 3 に示されたトランス 4 の 2 次側に接続された直列インダクタ 7 のインダクタンス  $L_{s1}$ 、または  $L_{s2}$  に対して、トランス 4 の巻数比を  $m$  とした時、

$$L_{s4} = L_{s1} / m^2 \quad \cdots (20)$$

$$L_{s4} = L_{s2} / m^2 \quad \cdots (21)$$

のうちのいずれかを満足するように構成される。具体的には、トランスの鉄心の量（断面積）を増減することにより、漏れインダクタンスの値を調整し（断面積が大きいと漏れインダクタンスは大きくなる）、上式のいずれかを満足する所定値に設定する。

【0046】このようにすれば、実施の形態 3 に示されたものと等価的に同じ LC 並列回路となるため、同様の効果が得られる。即ち、トランス 4 の 2 次側で、放電負荷 5 に対して直列に、式 (1) または式 (2) を満足するインダクタンスを有するように構成できる。

【0047】さらに、本実施の形態 7 においては、トランス 4 の漏れインダクタンスを利用し、予め上記漏れインダクタンス  $L_{s4}$  が式 (20)、(21) のいずれかを満足するようにトランス 4 を設計し、この漏れインダクタンスが実施の形態 3 の直列インダクタ 7 と同じ役割を有するようにしたので、新たに直列インダクタを接続



する必要がなくなるため、より安価な装置を提供することができる。

【0048】

【発明の効果】以上のように、この発明の第1の構成によれば、対向配置する一対の電極間に誘電体を介して放電空間となるガス領域が構成され、上記両電極間に印加

$$1 / \{C1 \times (2\pi f)^2\} \leq L \leq 1 / \{C3 \times (2\pi f)^2\} \cdots (1)$$

ここで、L：インダクタンス [H]

C1：誘電体の静電容量値 [F]

f：両電極間に印加される交流電圧の周波数 [Hz]

C3：(C1×C2)/(C1+C2) で与えられる静電容量値 [F]

C2：ガス領域の静電容量値 [F]

を満足するインダクタンスを有するように構成したので、ガス領域の静電容量値が誘電体の静電容量値に比べて無視できないような放電負荷に対しても、放電発生の有無に関わらず、安定して力率補償が行え、その結果、小型で安価なプラズマ発生用電源装置を得ることができる。

【0049】また、本発明の第2の構成によれば、対向配置する一対の電極間に誘電体を介して放電空間となるガス領域が構成され、上記両電極間に印加される交流高電圧により生じる電界によって上記放電空間のガスを励起し、プラズマを発生させる放電負荷に対し、トランスを介して交流電力を供給するプラズマ発生用電源装置において、上記トランスの2次側で、上記放電負荷に対して並列または直列に、下記の式(2)

$$L = 1 / \{C \times (2\pi f)^2\} \cdots (2)$$

ここで、L：インダクタンス [H]

C：C1×(1-V\*/V<sub>op</sub>) で与えられる静電容量値 [F]

C1：誘電体の静電容量値 [F]

V\*：放電空間の放電維持電圧 [V]

V<sub>op</sub>：印加電圧波高値 [V]

f：両電極間に印加される交流電圧の周波数 [Hz]

を満足するインダクタンスを有するように構成したので、ガス領域の静電容量値が誘電体の静電容量値に比べて無視できないような放電負荷に対しても、放電発生の有無に関わらず、高い度合いの力率補償が行え、その結果、小型で安価なプラズマ発生用電源装置を得ることができる。

【0050】また、本発明の第3の構成によれば、第1または第2の構成において、トランスの2次側に、放電負荷に対して並列または直列に接続され、式(1)または式(2)を満足するインダクタンスを有するインダクタを備えたので、容易に高い度合いの力率補償が行え、小型で安価なプラズマ発生用電源装置を得ることができる。

【0051】また、本発明の第4の構成によれば、第1または第2の構成において、式(1)または式(2)で

される交流高電圧により生じる電界によって上記放電空間のガスを励起し、プラズマを発生させる放電負荷に対し、トランスを介して交流電力を供給するプラズマ発生用電源装置において、上記トランスの2次側で、上記放電負荷に対して並列または直列に、下記の式(1)

示されるインダクタンスをL、トランスの巻数比をmとした時、トランスの1次側に、放電負荷に対して並列または直列に接続され、L/m<sup>2</sup>を満足するインダクタンスを有するインダクタを備えたので、容易に高い度合いの力率補償が行え、小型で安価なプラズマ発生用電源装置を得ることができる。

【0052】また、本発明の第5の構成によれば、第1または第2の構成において、式(1)または式(2)で示されるインダクタンスをL、トランスの巻数比をmとした時、トランスの励磁インダクタンスが、L/m<sup>2</sup>を満足するように構成したので、新たにインダクタを接続する必要がなくなるため、簡単な装置構成により、力率補償が行えが、より安価な装置を提供することができる。

【0053】また、本発明の第6の構成によれば、第1または第2の構成において、式(1)または式(2)で示されるインダクタンスをL、トランスの巻数比をmとした時、トランスの漏れインダクタンスが、L/m<sup>2</sup>を満足するように構成したので、新たにインダクタを接続する必要がなくなるため、簡単な装置構成により、力率補償が行えが、より安価な装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施の形態1によるプラズマ発生用電源装置を示す回路図である。

【図2】 オゾナイザを例にした場合の、V（電圧）－Q（電荷）リサージュ波形を示す図である。

【図3】 放電終了時でのオゾナイザの等価回路を説明する図である。

【図4】 共振周波数と付加するインダクタのインダクタンス値の関係を示す図である。

【図5】 共振周波数と印加電圧波高値の関係を示す図である。

【図6】 本発明の実施の形態2によるプラズマ発生用電源装置を示す回路図である。

【図7】 本発明の実施の形態3によるプラズマ発生用電源装置を示す回路図である。

【図8】 本発明の実施の形態4によるプラズマ発生用電源装置を示す回路図である。

【図9】 本発明の実施の形態5によるプラズマ発生用電源装置を示す回路図である。

【図10】 本発明の実施の形態6によるプラズマ発生用電源装置を示す回路図である。

【図11】 本発明の実施の形態7によるプラズマ発生用電源装置を示す回路図である。

【図12】 従来のプラズマ発生用電源装置を示す回路図である。

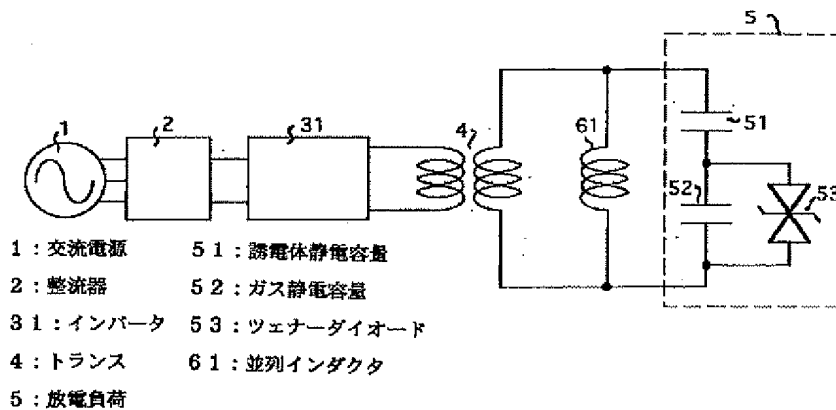
【図13】 従来の別のプラズマ発生用電源装置を示す回路図である。

【図14】 放電負荷の等価回路を示す図である。

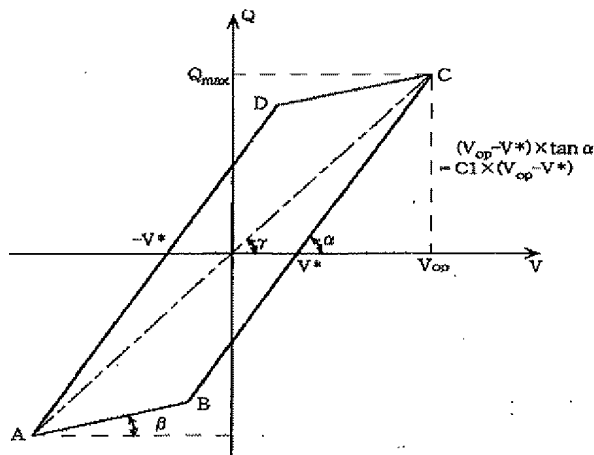
【符号の説明】

1 交流電源、2 整流器、3, 31, 32 インバータ、4 トランス、5 放電負荷、51 誘電体静電容量、52 ガス静電容量、53 ツェナーダイオード、6, 61, 62, 63, 64 並列インダクタ、7, 71, 72 直列インダクタ。

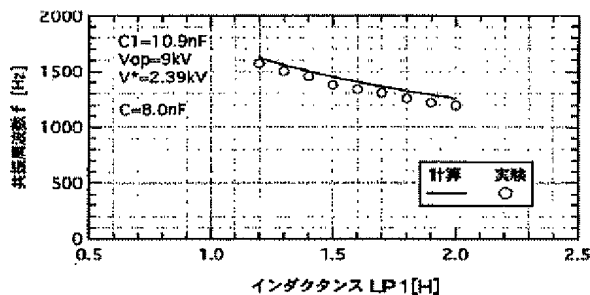
【図1】



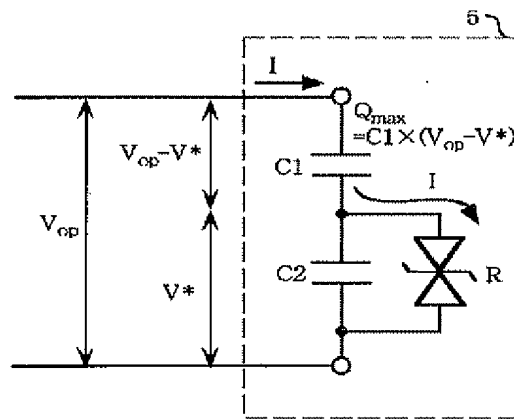
【図2】



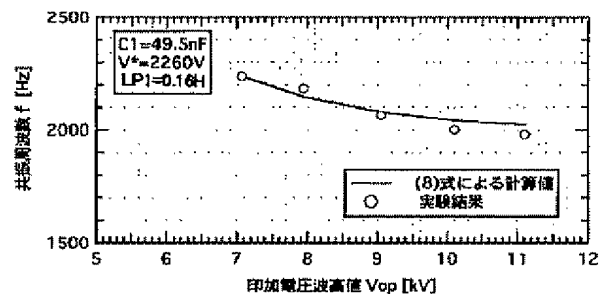
【図4】



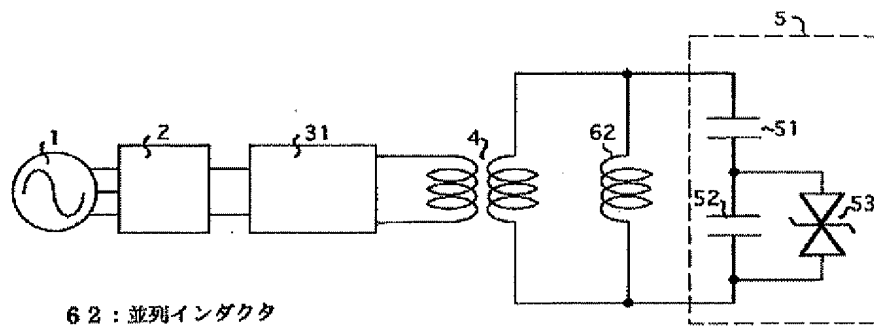
【図3】



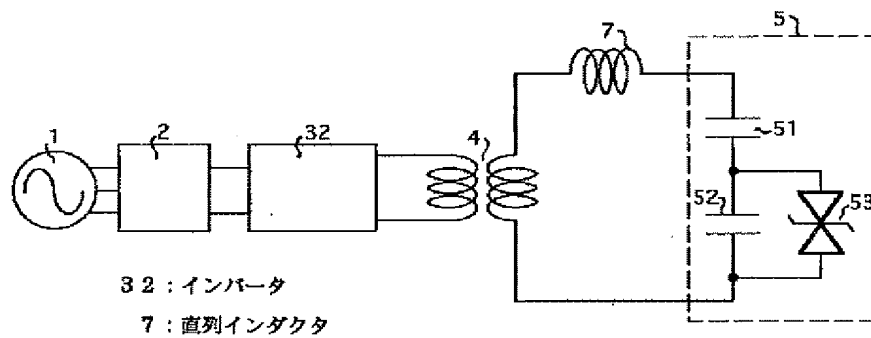
【図5】



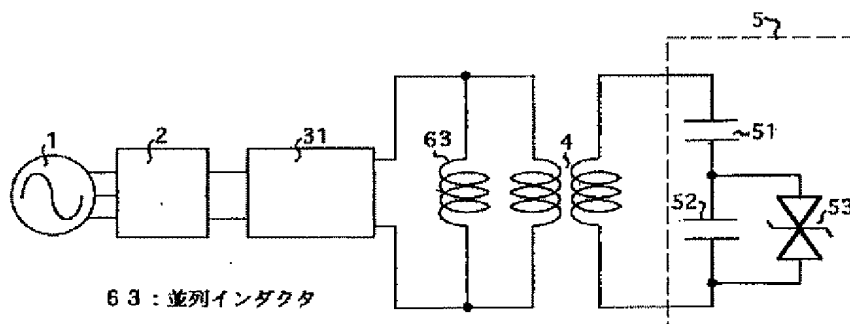
【図 6】



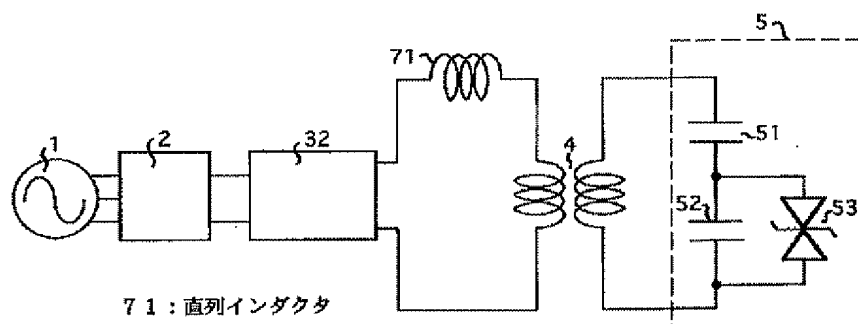
【図 7】



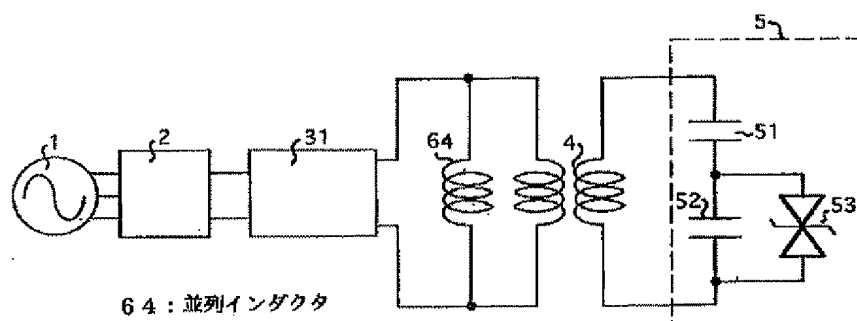
【図 8】



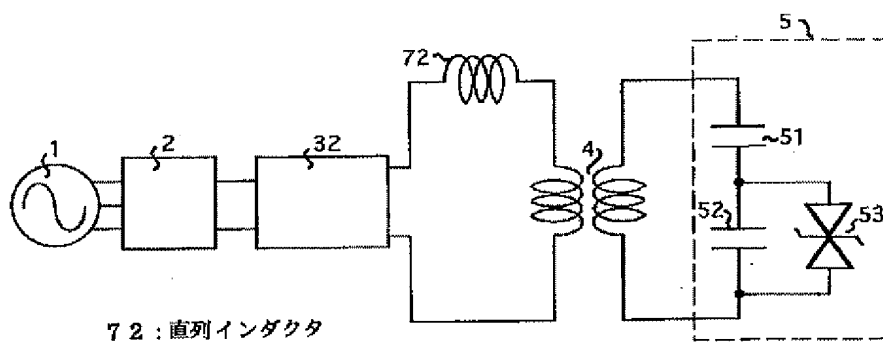
【図 9】



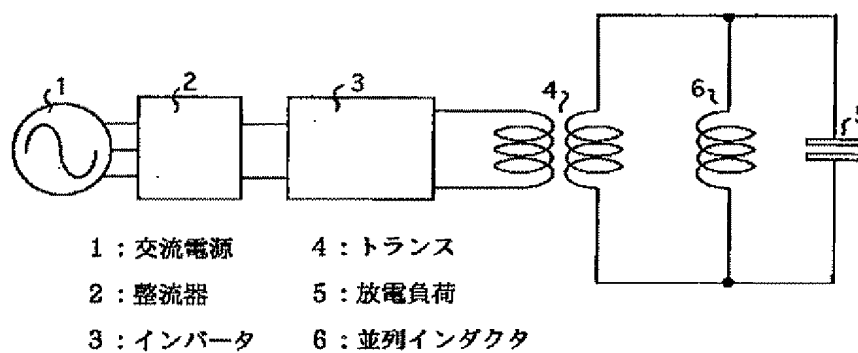
【図 10】



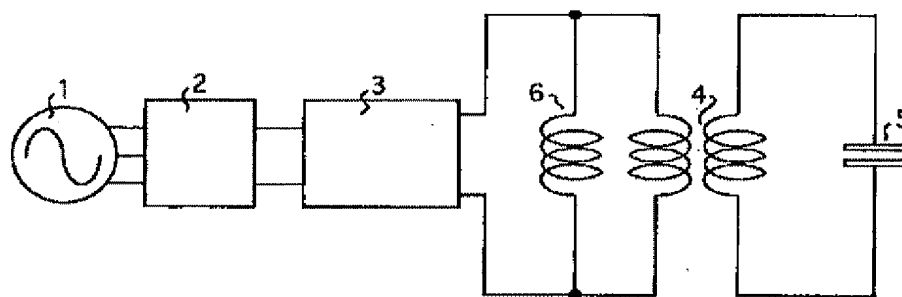
【図 11】



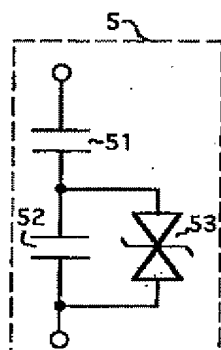
【図 12】



【図 13】



【図 14】



- 51 : 誘電体静電容量  
52 : ガス静電容量  
53 : ツェナーダイオード